

最適化ベンチマーク問題自動生成のための 大規模言語モデル駆動型進化的アルゴリズム

jh250063

原田 智広 (埼玉大学), 上野 史 (岡山大学), 高玉 圭樹 (東京大学)

研究背景・目的

■ 最適化ベンチマーク問題

- 最適化アルゴリズムの性能評価が重要
(探索性能、収束速度、実行時間、etc.)
- アルゴリズムの特性を理解するためには**多様な性質のベンチマークセット**を用いた分析が必須

■ 研究目的

所望の性質を持つ多様な最適化ベンチマーク問題を自動生成するアルゴリズムを提案

■ 既存のベンチマーク問題

	人工ベンチマーク問題	実問題ベンチマーク問題
利点	- 実行時間が短い - 問題特性を設定可能 (多峰性、変数依存性等)	現実の問題特性を反映 (非線形性、非凸性制約等)
欠点	実問題の特性が反映されていない	- 実行時間が長い - 作成コストが高い - 機密情報により公開困難

実問題の性質を備えながら**短時間で実行可能**なベンチマークが求められる

大規模言語モデル駆動型進化的ベンチマーク生成手法

大規模言語モデル (LLM)

×

進化計算 (EA)

=

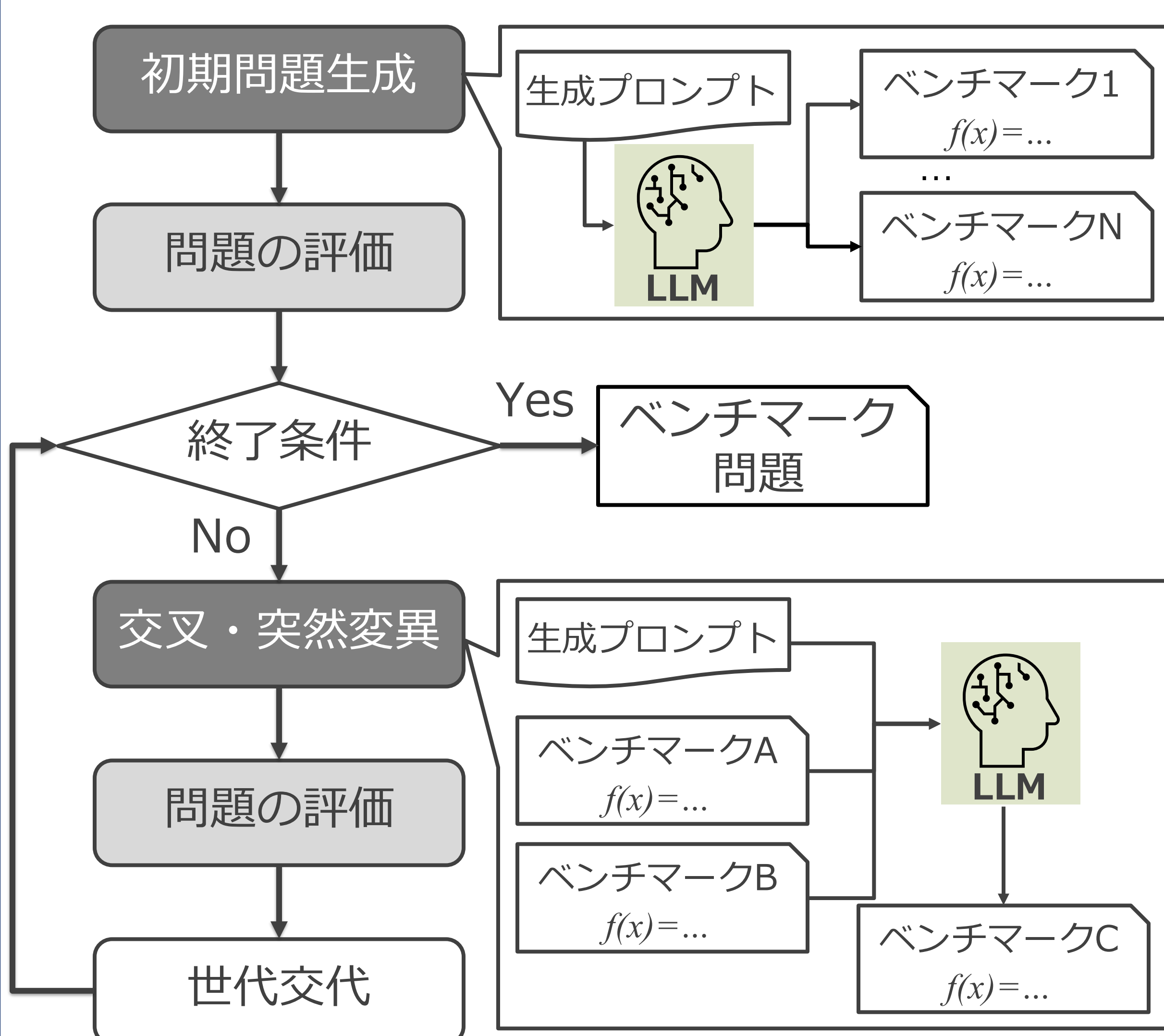
ベンチマーク問題自動生成

高い自然言語処理能力
→数式やプログラムコードを生成可能

ブラックボックス最適化手法
→設計指針に沿った探索が可能

所望の性質を持つベンチマークをEAで探索
LLMでベンチマークに交叉・突然変異を適用

■ 提案手法の概略図



■ LLMによる交叉の例

生成プロンプト例 (指示文)

Now you will help me to generate useful benchmark problem in 5 dimensions.

$$f(x) = x[0] * \sin(x[1]**2) + \text{abs}(x[2] - x[3]**3) + x[4]**2 - x[0]**3 + 2*x[1]$$
$$f(x) = x[0] * \sin(x[1]) + \text{abs}(x[2]) + x[3]**2*x[4] - x[1]**3*x[0] + 3*x[1]*x[2]$$

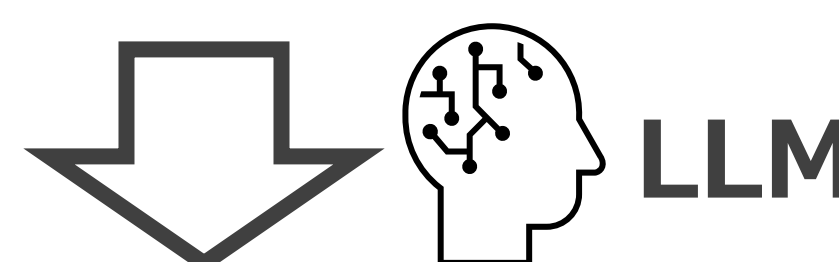
Instruction ###
Generate a new optimization problem in just 5 dimensions **to combine** above problems.
You can use only the operator, "+", "-", "*", "/", "**", "sqrt", "sin", "sinh", "abs".
You need to write the answer in terms of the variables x[i].
Write in one line.
Don't give any explanations. Don't give constraints.
Problem : f(x) =

探索母集団

$f_1(x)$ $f_2(x)$ $f_3(x)$ $f_4(x)$ $f_5(x)$

指示文に与えるベンチマークを母集団から選択

2つの問題を組み合わせた問題を作成するよう指示



LLMの出力 (変異後のベンチマーク問題)

$$f(x) = x[0] * \sin(x[1]) + \text{abs}(x[2]) + x[3]**2*x[4] - x[1]**3*x[0] + 3*x[1]*x[2]$$

元の問題を改変した新しい問題を生成
= **ベンチマークの変異を実現**

■ ベンチマーク問題の評価方法

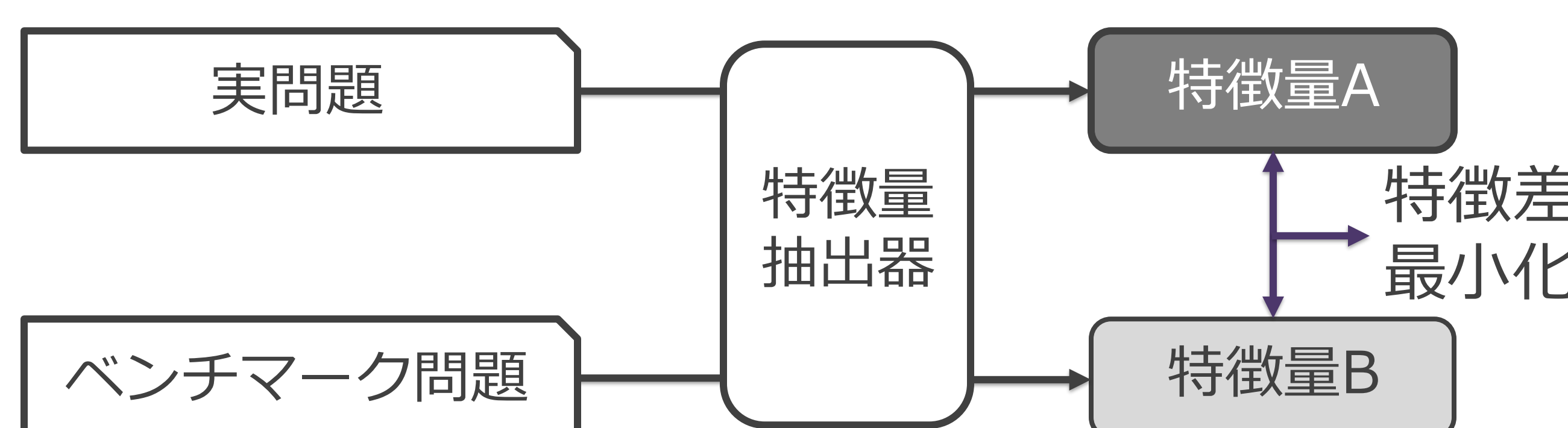
1. 性能差強調型の評価

- アルゴリズム比較に適したベンチマークを生成



2. 特徴量志向型の評価

- 実問題の特性を有するベンチマークを生成



研究計画

① 数式表現を用いるベンチマーク生成 (2024年4月~7月)

- 初等関数の組み合わせでベンチマークを表現
- 提案手法のベースラインを確立

② プログラムコード表現を用いるベンチマーク生成 (2024年8月~11月)

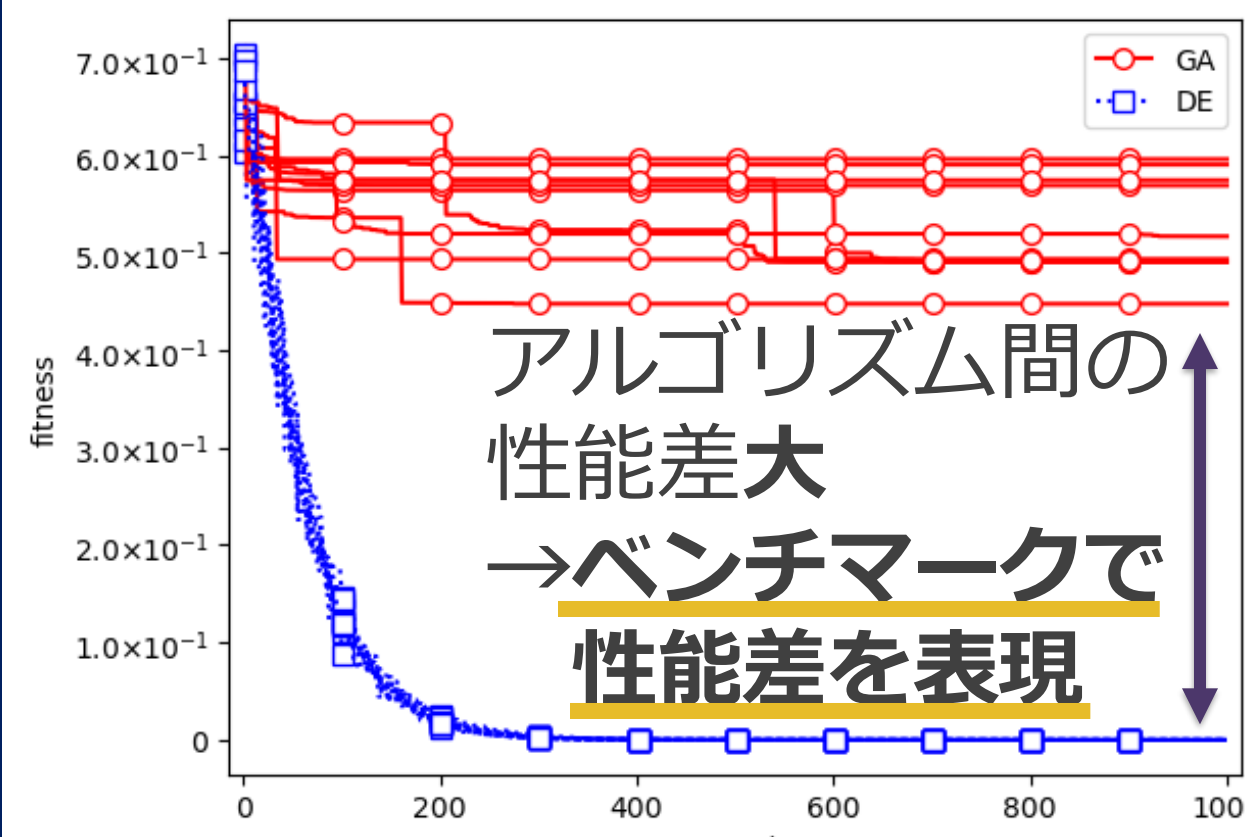
- 数式ベースの表現をプログラムコード表現へと拡張
- ループや条件分岐を含む複雑な問題を生成可能
- データ駆動型の処理を含むベンチマーク問題の生成可能

③ 実問題特性を反映したベンチマーク生成 (2024年12月~2025年3月)

- 実世界の問題特徴と近い特徴を持つベンチマーク問題を生成
- 低計算コストで実問題特性を持つベンチマークによる最適化アルゴリズムの評価が可能

予備実験結果

- 2つの進化計算(DEとGA)の性能差を強調するベンチマークを生成
- 5変数の無制約単目的最適化問題を対象



生成されたベンチマーク問題を解いた結果

$$x_0^{1.875} x_1^{0.125} + \frac{x_2^{1.5}}{x_3^{0.375} + x_4^{0.625}} - x_0 x_2^{0.375} \sin(x_1 x_3)^{0.375} + \sqrt{|x_0^{1.5} x_1^{0.375} - x_2^{1.125} x_3^{0.25}|} + \frac{x_0^2 x_1^{0.25} x_2^{0.5}}{x_3^{0.25} + x_4^{0.75}} - x_0 x_1^{0.25} x_2^{0.5} \sin(x_3 x_4)^{0.25} + \sqrt{|x_0^{1.25} x_1^{0.5} x_2^{0.5} - x_3^{0.25} x_4^{0.25}|} + \sinh(x_0 x_1 x_3)^{0.125} + \cosh(x_1 x_2 x_4)^{0.125} + \frac{x_1^{0.375} x_2^{0.125}}{x_3^{0.125} + x_4^{0.875}} - x_1 x_2^{0.125} \sin(x_3 x_4)^{0.375} + \sqrt{|x_1^{1.25} x_2^{0.125} - x_0 x_3^{0.5} x_4^{0.5}|} + x_0^{1.75} x_1^{0.25} + \frac{x_2^{1.5}}{x_3^{0.5} + x_4^{0.25}} - x_1 x_3^{0.5} \sin(x_2 x_4)^{0.25} + \sqrt{|x_0 x_2^{0.5} - x_3 x_4^{0.75}|} + \sinh(x_0 x_1 x_3)^{0.25} + \frac{x_0^{1.25} x_1^{0.5} x_2^{0.75}}{x_3^{0.5} + x_4^{0.5}} - x_0 x_1^{0.5} x_2^{0.75} \sin(x_3 x_4)^{0.5} + \sqrt{|x_0^2 x_1^{0.75} x_2^{0.5} - x_3^{0.25} x_4^{0.25}|} + x_0^{1.5} x_1^{0.25} + \frac{x_2^{1.25}}{x_3^{0.5} + x_4^{0.25}} - x_0 x_1^{0.25} \sin(x_2 x_4)^{0.25} + \sqrt{|x_0^{1.25} x_1^{0.5} - x_2^{0.75} x_3^{0.25}|}$$

生成されたベンチマーク問題